

Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Malcherek, Oliver Chmiel
Universität der Bundeswehr München

Holger Rahlf, Julia Benndorf, Marie Naulin
Bundesanstalt für Wasserbau

MudEstuary

**Die Beeinflussung der Dynamik der Tideästuare
durch Flüssigschlick**

23. KFKI Seminar 2018

Hamburg, d. 05.12.2018



Inhalt

1. Einleitung: Motivation und Ziele

2. Weiterentwicklung Simulationsmodell mit einem kontinuierlichem Modellansatz

- Rheologische Viskosität
- Hindered Settling
- Turbulenzdämpfung

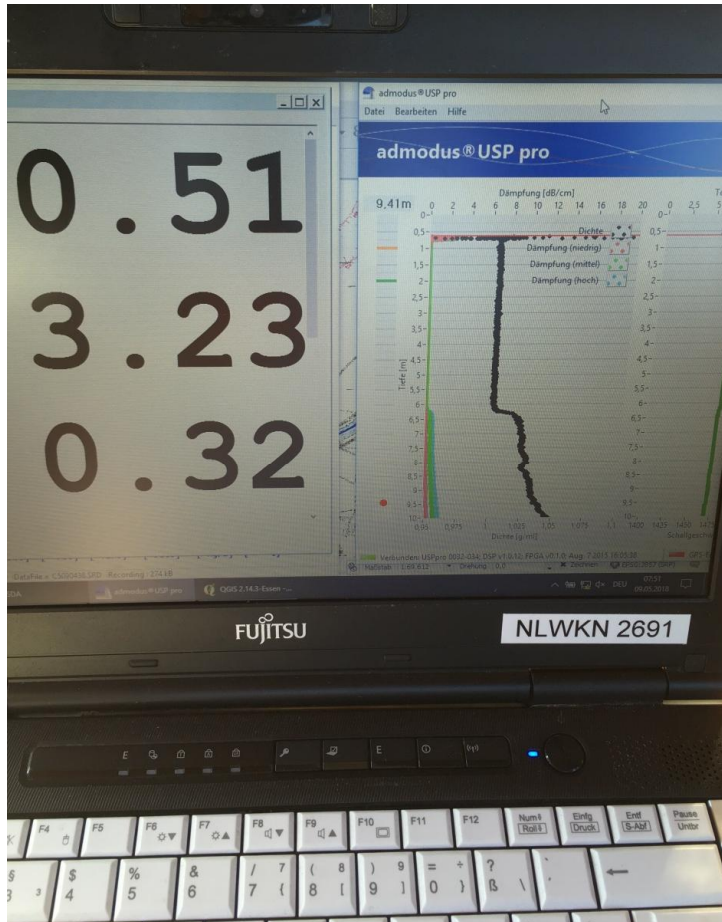
3. Laborversuche

4. Ergebnisse Numerische Simulation

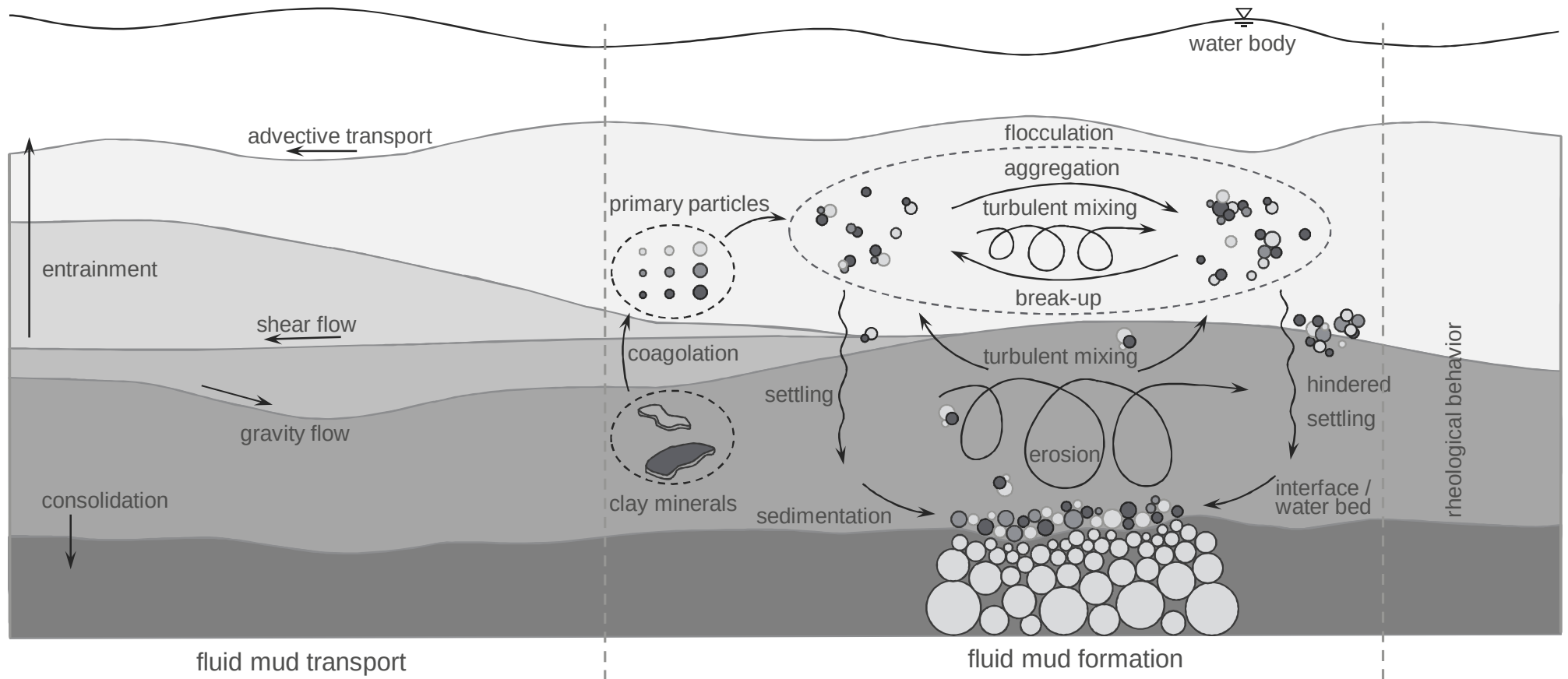
- Laborkanal
- Schematischer Tidekanal
- Emsästuar
- Historische Zustände des Emsästuars

5. Zusammenfassung und Ausblick

Motivation: Ems Ästuar im Mai 2018



Komplexe Prozesse: Kohäsive Sedimente / Fluid Mud



After Maggi (2005) & Wehr (2012)

Stand der Forschung

Kann man das modellieren?

Was sind die wichtigsten Prozesse?

Kann man die wichtigsten Prozesse modellieren?

Wie werden neue Erkenntnisse erzielt?

§ Messungen in der Natur

§ Messungen im Labor

§ Analytische/Numerische Modelle

Abbildung Kopf in den Sand

Kopf in den Sand?

Messungen in der Natur

Dauermessstellen in der Gewässerkunde sind wichtig, aber nicht ausreichend, um die Prozesse der Fluid Mud Dynamik zu beobachten.

Ausgewählte Forschungs-Messkampagnen

- § Monatliche Längsprofilfahrten seit 2012
(NLWKN Forschungsstelle Küste)
- § Stationäre Ganztidenmessung in 2014 und 2017
(marum / CAU Kiel & BAW; siehe Abbildung)
- § Internationales Messprogramm „Ems-Dollart-Measurements“ EDoM im August 2018 / Januar 2019
(16 Institutionen, Behörden und Universitäten)

Abbildung siehe Becker et al. (2018)

Becker, M., Maushake, C., & Winter, C. (2018).
Observations of mud-induced periodic stratification in a
hyperturbid estuary. Geophysical Research Letters, 45.
<https://doi.org/10.1029/2018GL077966>

MudEstuary: Messungen im Labor und Numerisches Modell

Ziele des Projekts MudEstuary

Modellierung der Tidedynamik unter dem Einfluss von Flüssigschlick mit einer **kontinuierlichen Beschreibung** von Rheologie zu Turbulenz

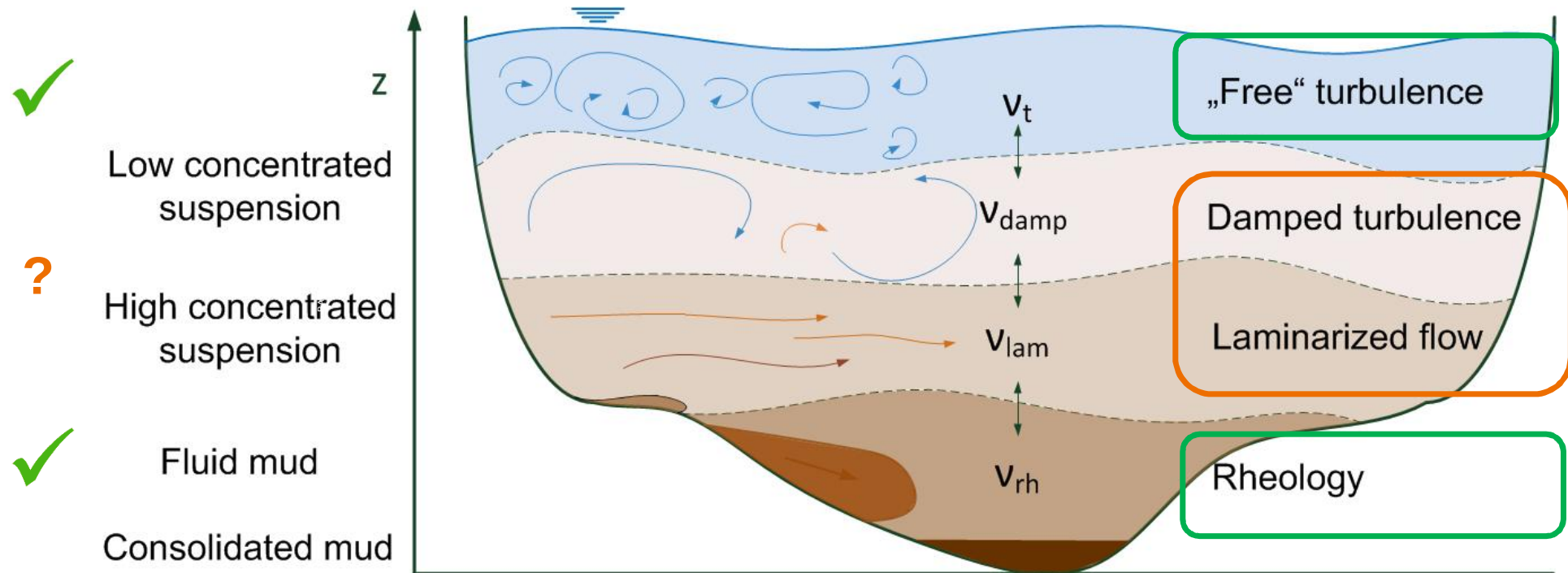
Laborversuche – MudEstuary A (UniBwM)

- § Turbulenzmessungen in künstlich erzeugten geschichteten Strömungen
- § Erzeugung von Messdaten zur Verifizierung des numerischen Modells
- § Physikalische und numerische Beschreibung der Turbulenz im Übergang zu Flüssigschlick

Numerisches Modell – MudEstuary B (BAW)

- § Kombination von Turbulenz und Schlickrheologie im 3D-Modell
- § Numerische Nachbildung der Laborversuche
- § Anwendung für die Ems und Vergleich historischer Szenarien

Theorie – Kontinuierliches Modellkonzept

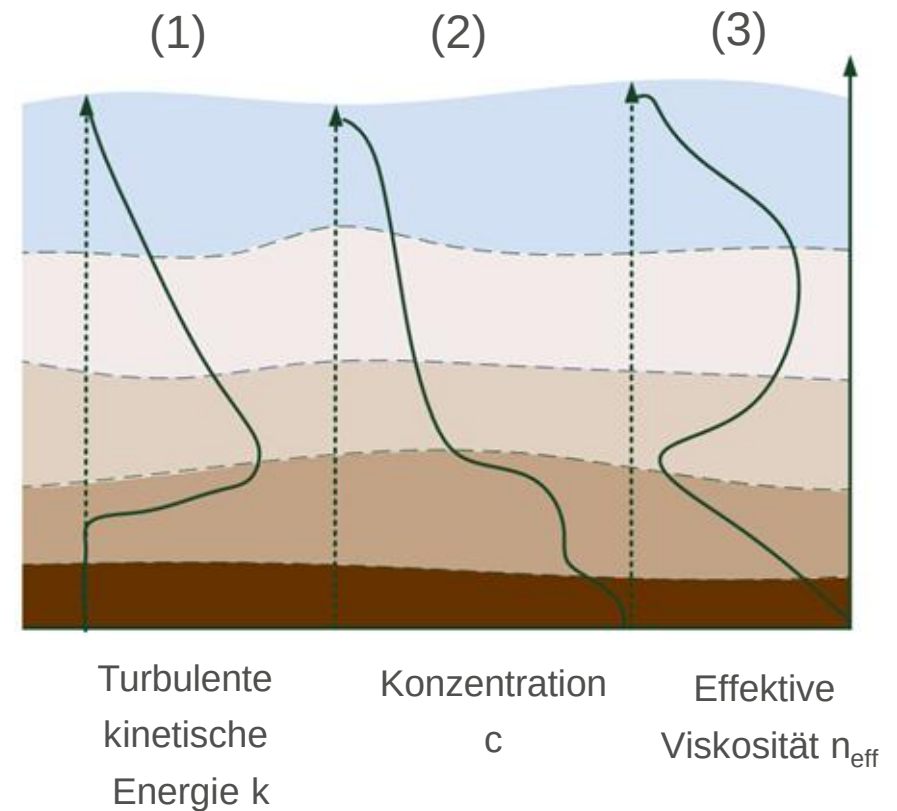


Source: Chmiel (2018)

Wichtige Prozesse: Fluid Mud Dynamik

“In order to simulate fluid mud dynamics,
Le Hir et al. (2001) identifies as most important processes:

- (1) **turbulence damping**
- (2) **hindered settling** and
- (3) **viscoplastic behavior of mud.”**



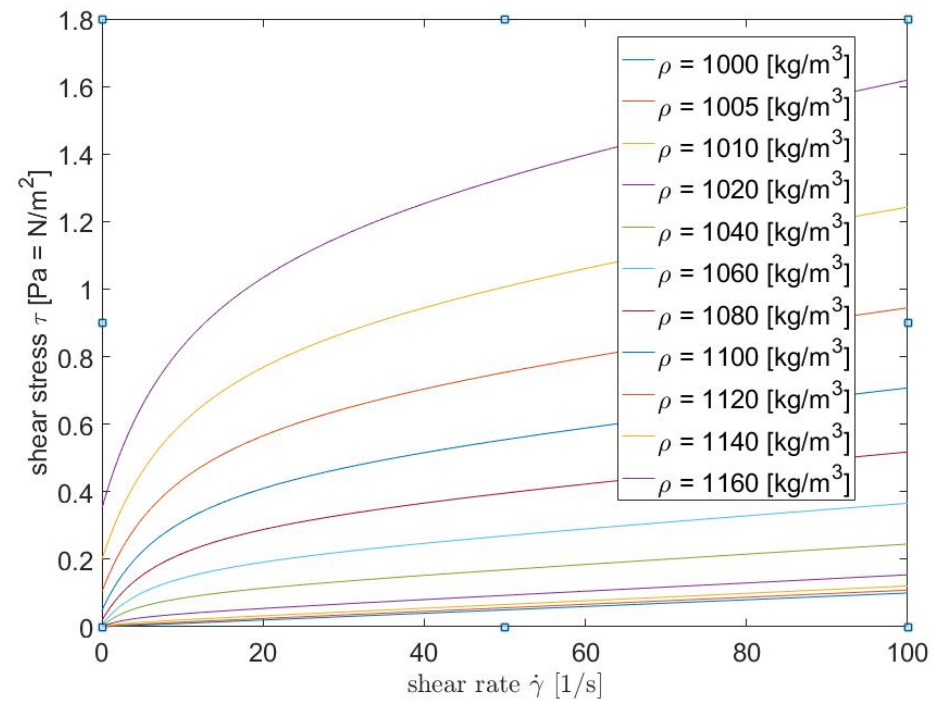
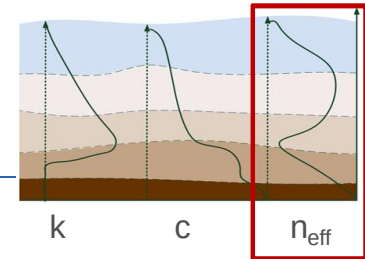
Le Hir, P.; Bassoullet, P.; Jestin, H. (2001): Application of the continuous modeling concept to simulate high-concentration suspended sediment in a macrotidal estuary. In W. H. McAnally, A.J Mehta (Eds.): Coastal and Estuarine Fine Sediment Processes, vol. 3: Elsevier Science (Proceedings in Marine Science), pp. 229–247.

Rheologische Viskosität: Ketchup vs. Fluid Mud

Ketchup

Abbildung siehe Bottiglieri et al. (1991)

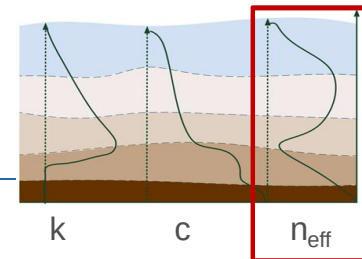
Fluid Mud



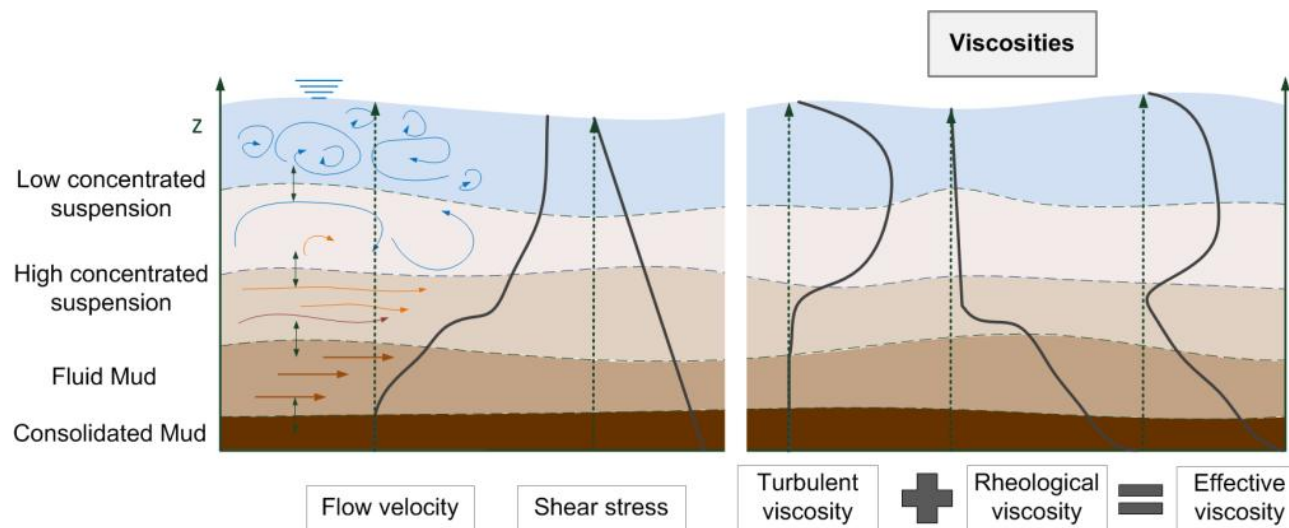
Bottiglieri et al. (1991): Rheological characterization of ketchup

After Knoch & Malcherek (2011): Rheological characterization of fluid mud

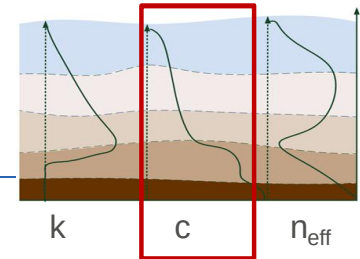
Effektive Viskosität



$$\nu_t + \nu_{rh} = \nu_{eff} \quad ?$$

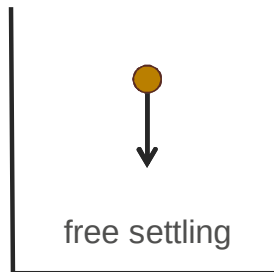


Sinkgeschwindigkeit: Hindered settling



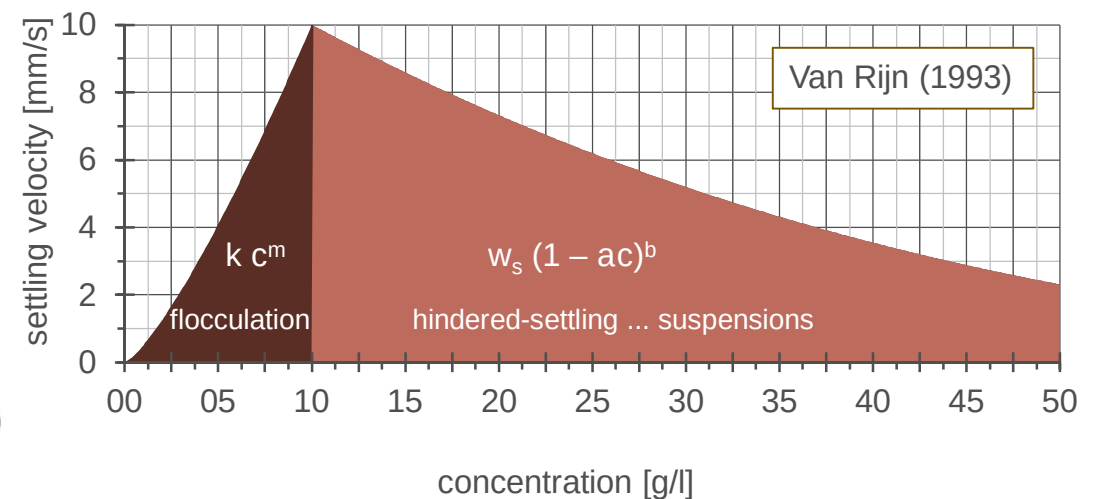
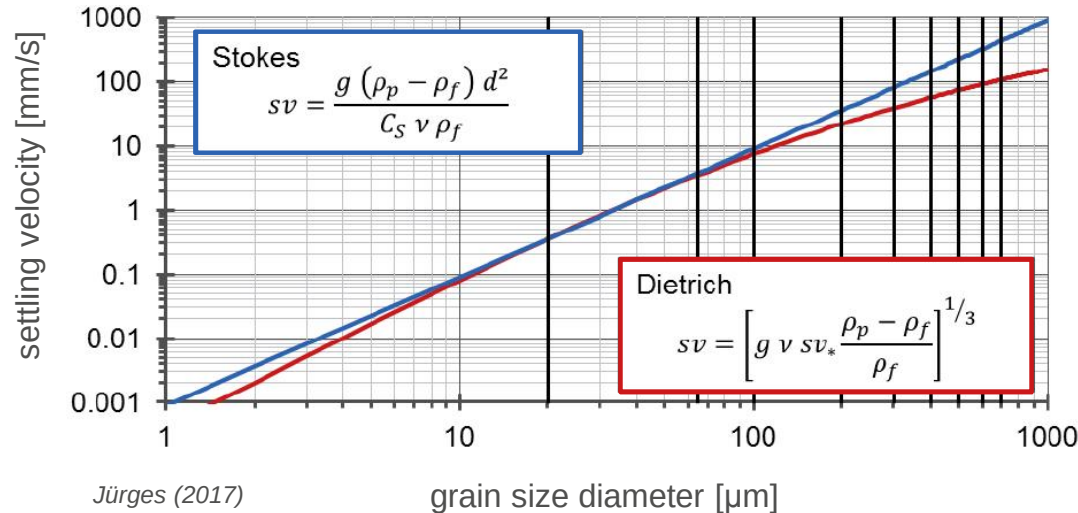
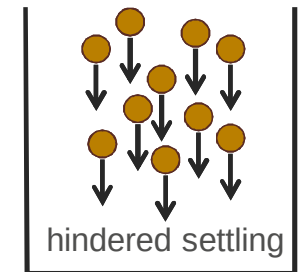
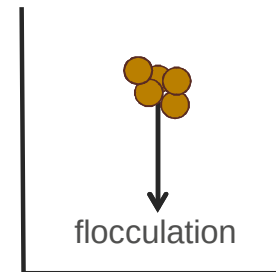
§ Free settling:

e.g. Stokes,
Dietrich

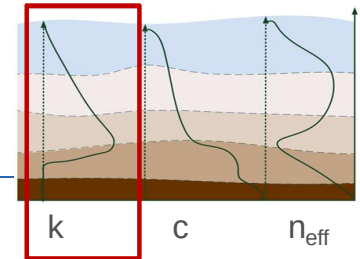


§ Flocculation & Hindered settling:

e.g. Richardson
& Zaki (1954),
Van Rijn (1993),
Winterwerp (2002)



Turbulenzmodell: k- ω



Warum kein k- ϵ -Modell?

Das k- ω -Turbulenzmodell ist ohne weitere Anpassungen für die gesamte viskose Unterschicht gültig (low-Re)!

Anpassung der Randwerte des k- ω -Turbulenzmodells am Boden

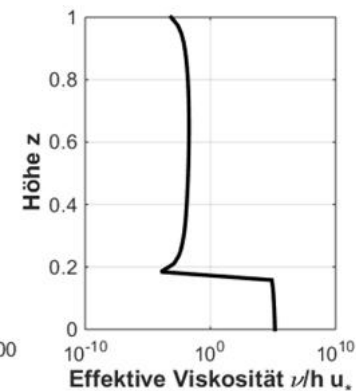
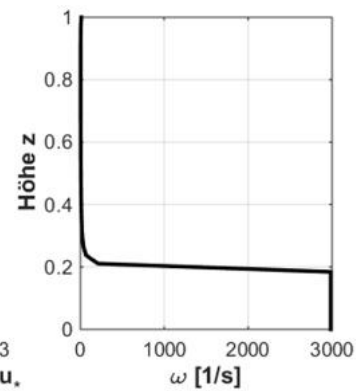
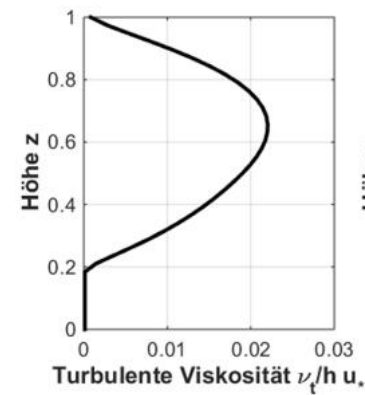
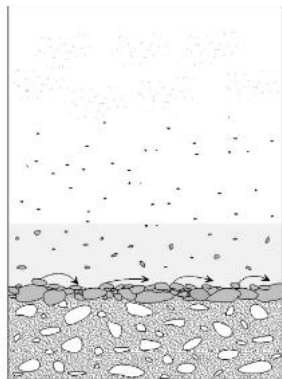
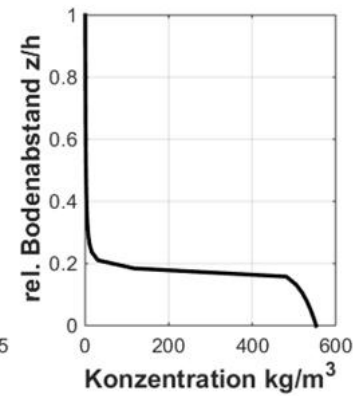
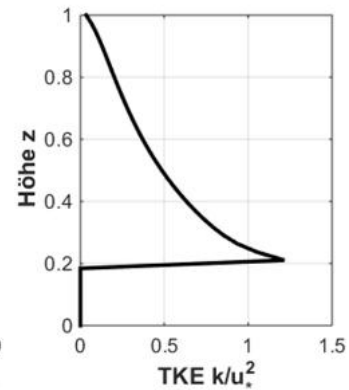
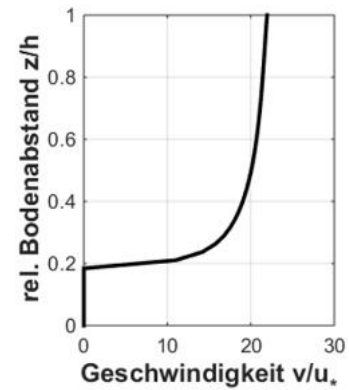
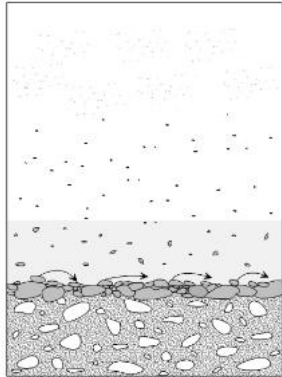
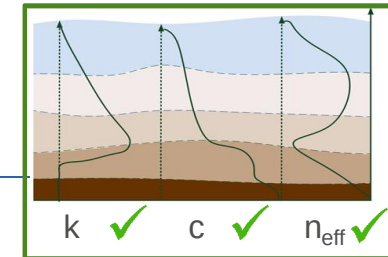
- Annahme: keine turbulente kinetische Energie im Schlick

$$k = 0.$$

- Annahme: ω entspricht „Potential“ Energie zu vernichten, d.h. im Schlick ist das Potential groß, Energie zu vernichten.

$$\omega \gg 0$$

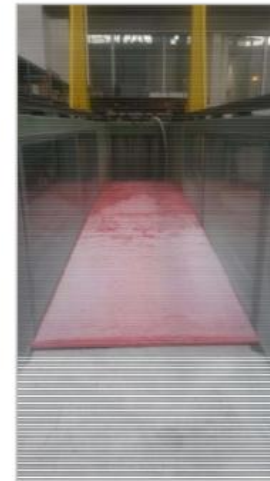
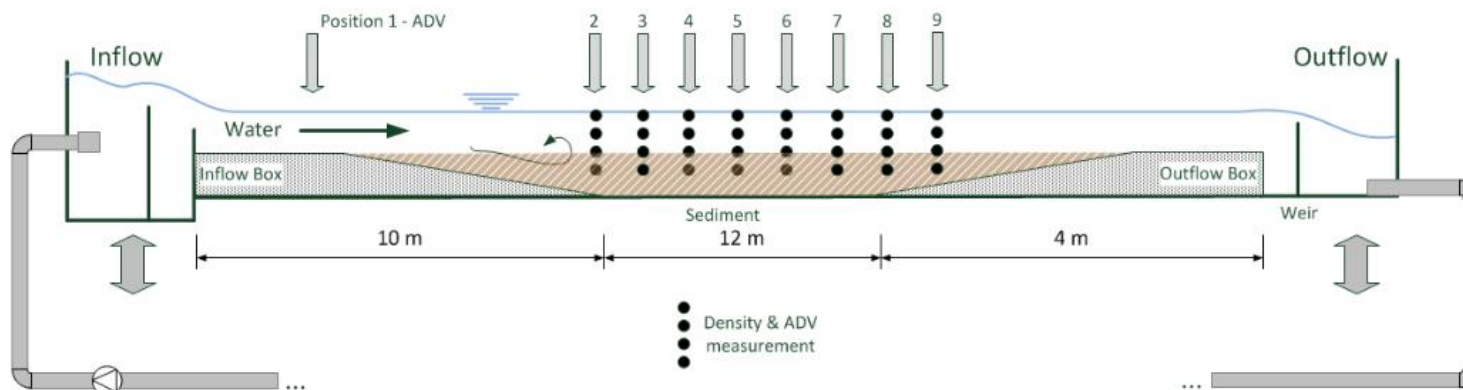
Ergebnisse 1D-Modell



Siehe
[22. KFKI-Seminar 2017](#)
[YouTube-Vorlesung 1DV-Modell](#)

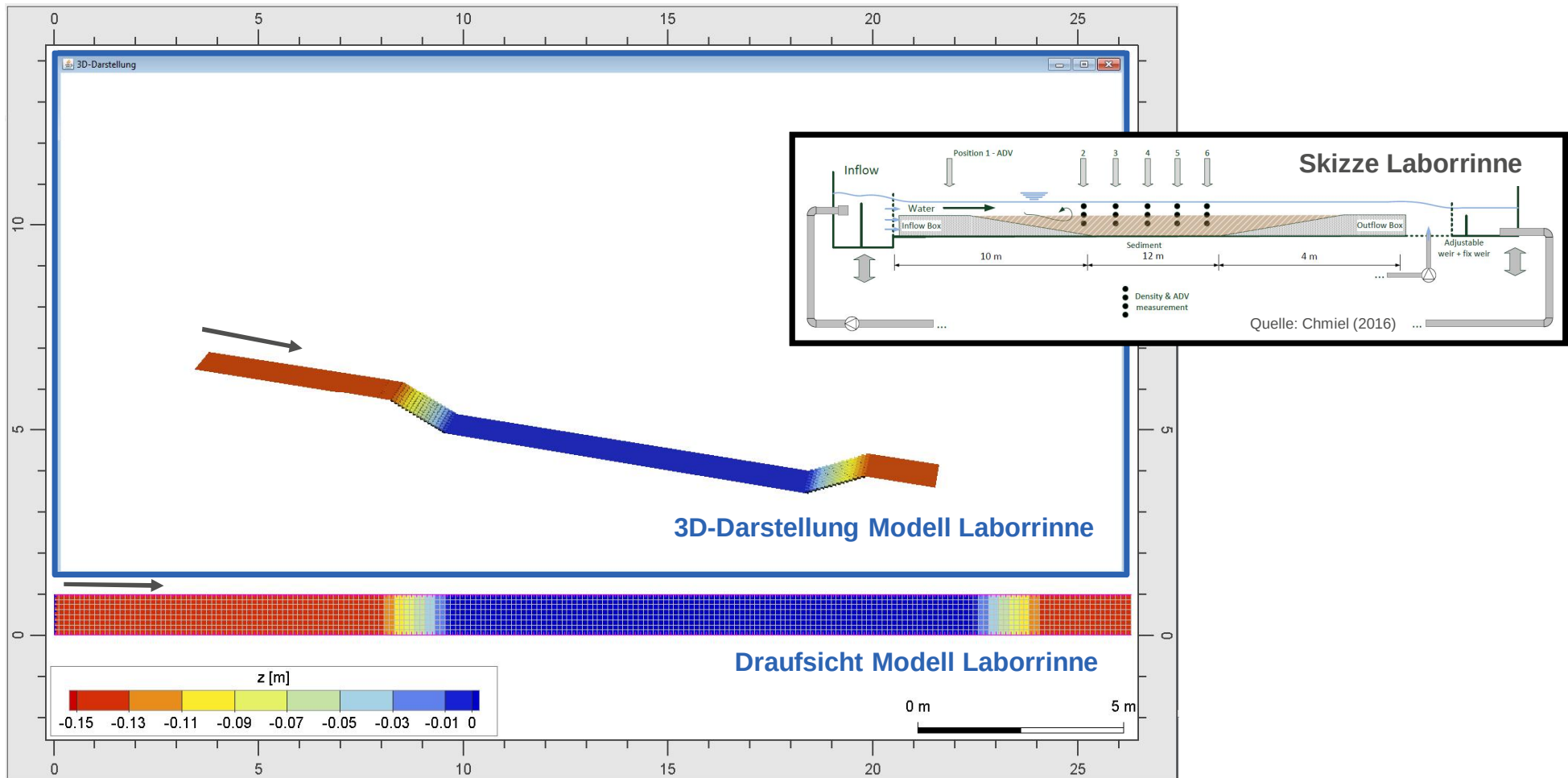
Laborversuche

The experimental facility

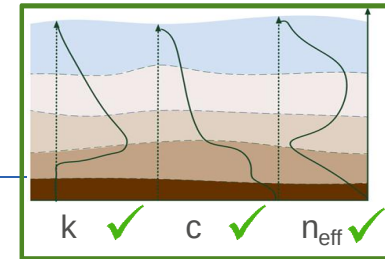


Siehe
[22. KFKI-Seminar 2017](#)

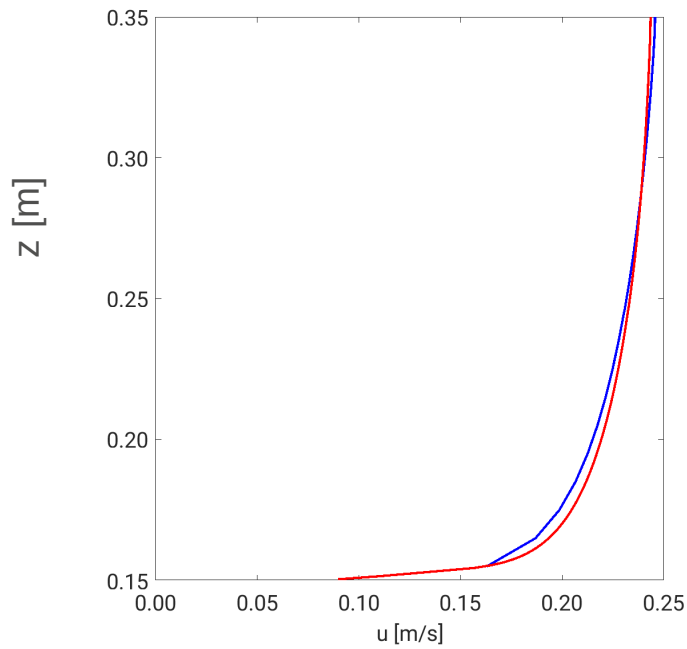
3D-Modell: Simulation der Laborrinne



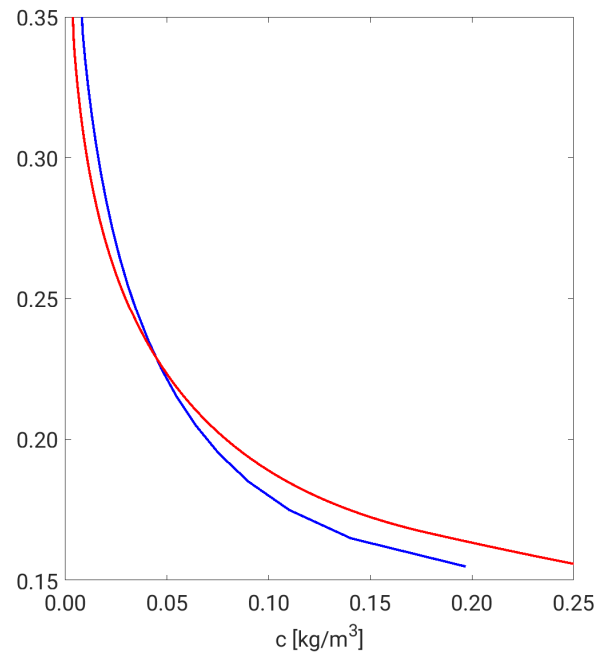
Ergebnisse 3D-Modell: Simulation der Laborrinne



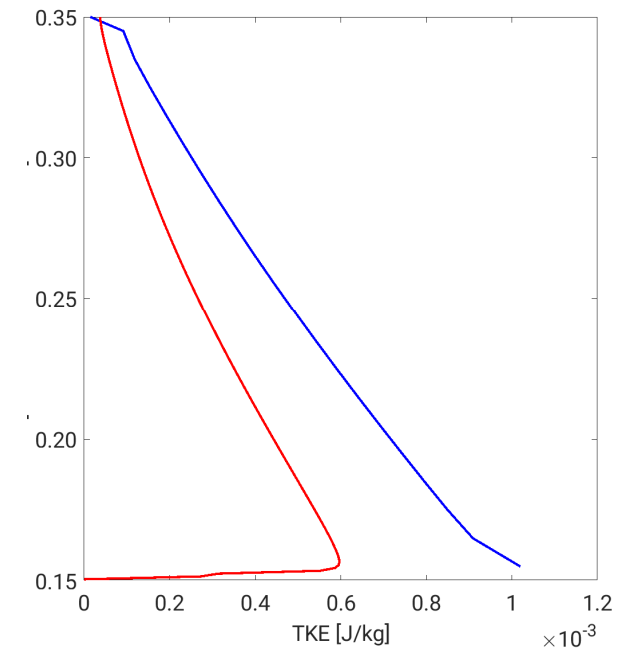
Strömungsgeschwindigkeit [m/s]



Konzentration [g/l]

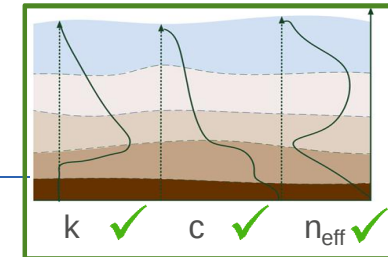


Turbulente kinetische Energie [m²/s²]

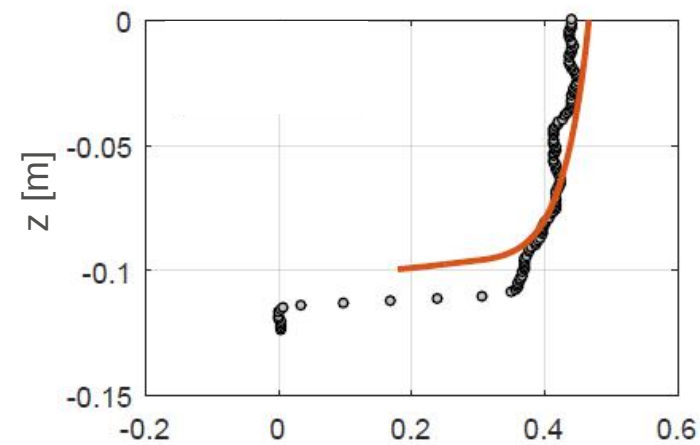


— k-omega classic (I021)
— k-omega MudEstuary (I027)

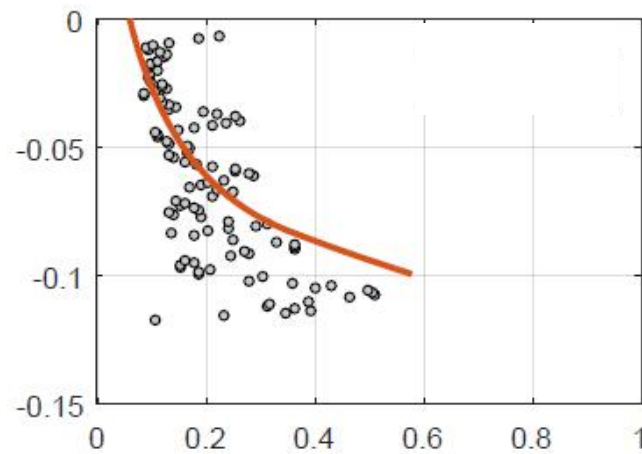
Ergebnisse: Vergleich Labormessungen und Simulation an einer Messposition



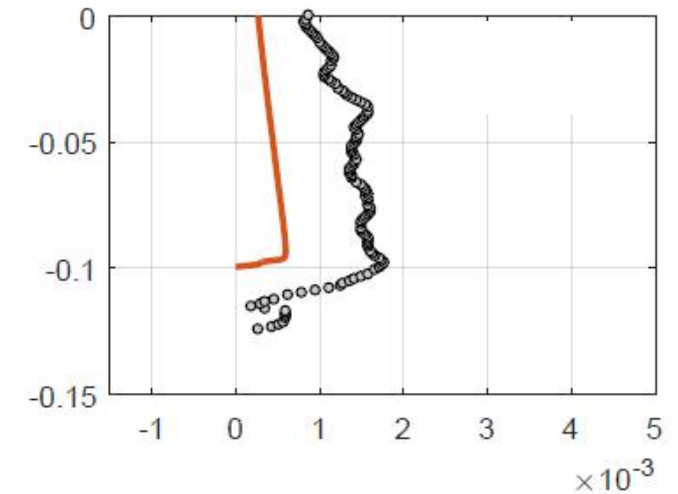
Strömungsgeschwindigkeit [m/s]



Konzentration [g/l]



Turbulente kinetische Energie [m²/s²]



Beispiel: Abfluss Q90I, Messstation M6

● Messung
— Simulation

Herausforderungen

§ Vertikale Auflösung

z-Schichten im mm-Bereich erforderlich

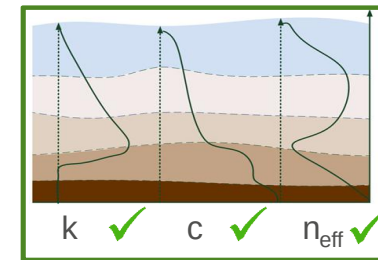
Mögliche Lösung: Rechnerleistung, Parallelisierung

à Weitere Analyse und Sensitivitätsstudien zum Laborkanal geplant

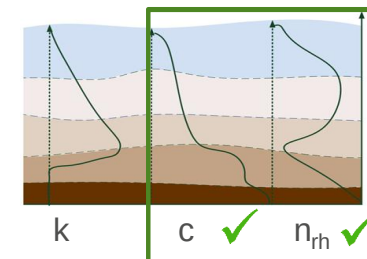
à Zurzeit keine praktikable Lösung zur Simulation großräumiger Ästuarmodelle

à Weitere komplexere Anwendungen (Schematischer Tidekanal, Anwendung Ems) zunächst nur mit zwei von drei Prozessen möglich

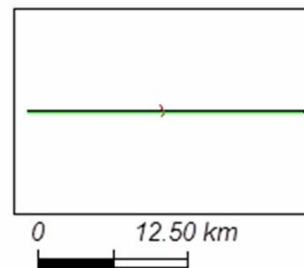
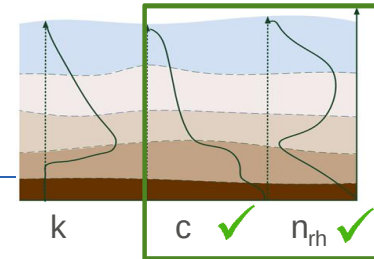
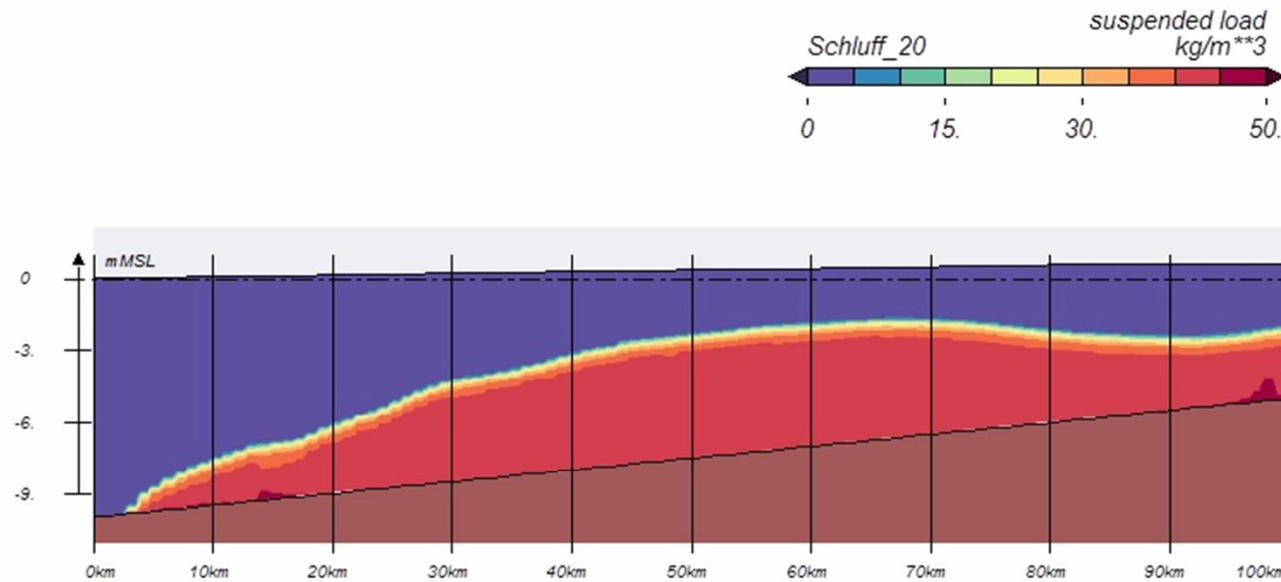
Simulation Laborkanal



Simulation Emsästuar



Zwischenergebnisse 3D-Modell schematischer Tidekanal für Sensitivitätsstudien



time:
08/04/2017 00:00

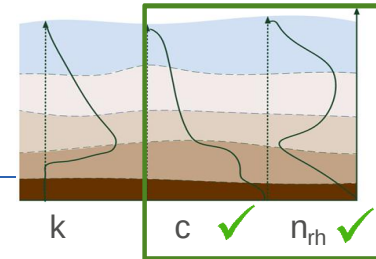
superelevation : 2000.0-times
profile : Laengsprofile estua

informations about files
- bathymetry : m.p.w006.p06 bin
- data 1 : p.su.w041.3D bin

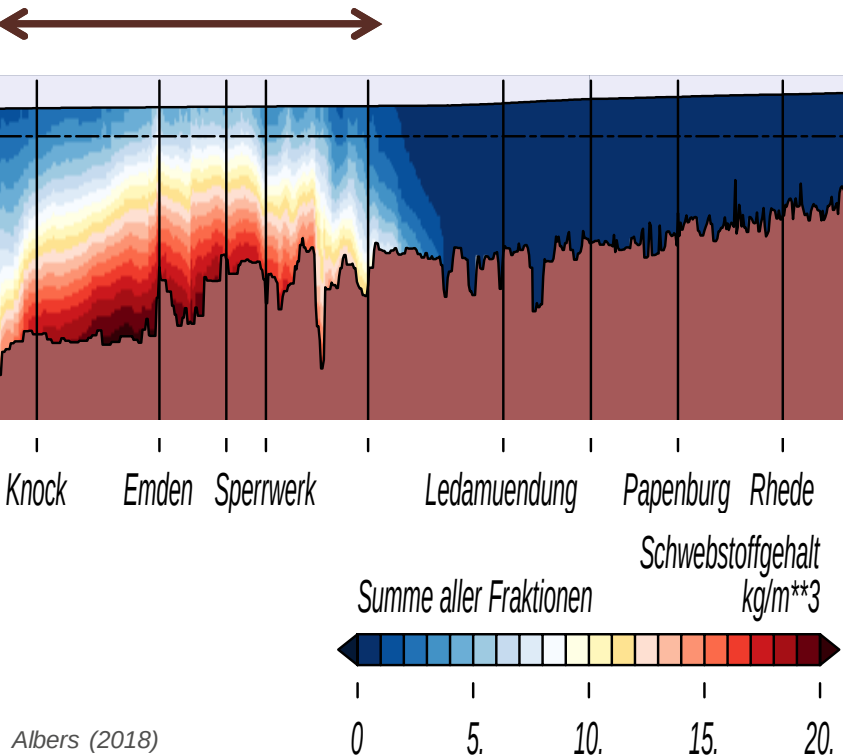


Zwischenergebnisse 3D-Modell Emsästuar

Beispiel Position der Fluid Mud Ausbildung bei hohem Oberwasser im Januar 2015

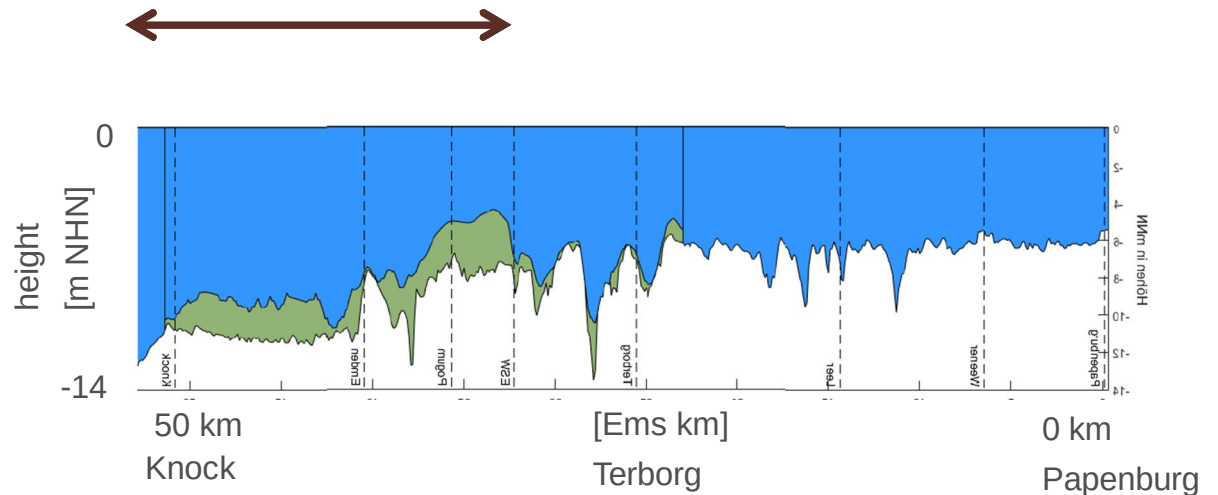


§ Simulation



Albers (2018)

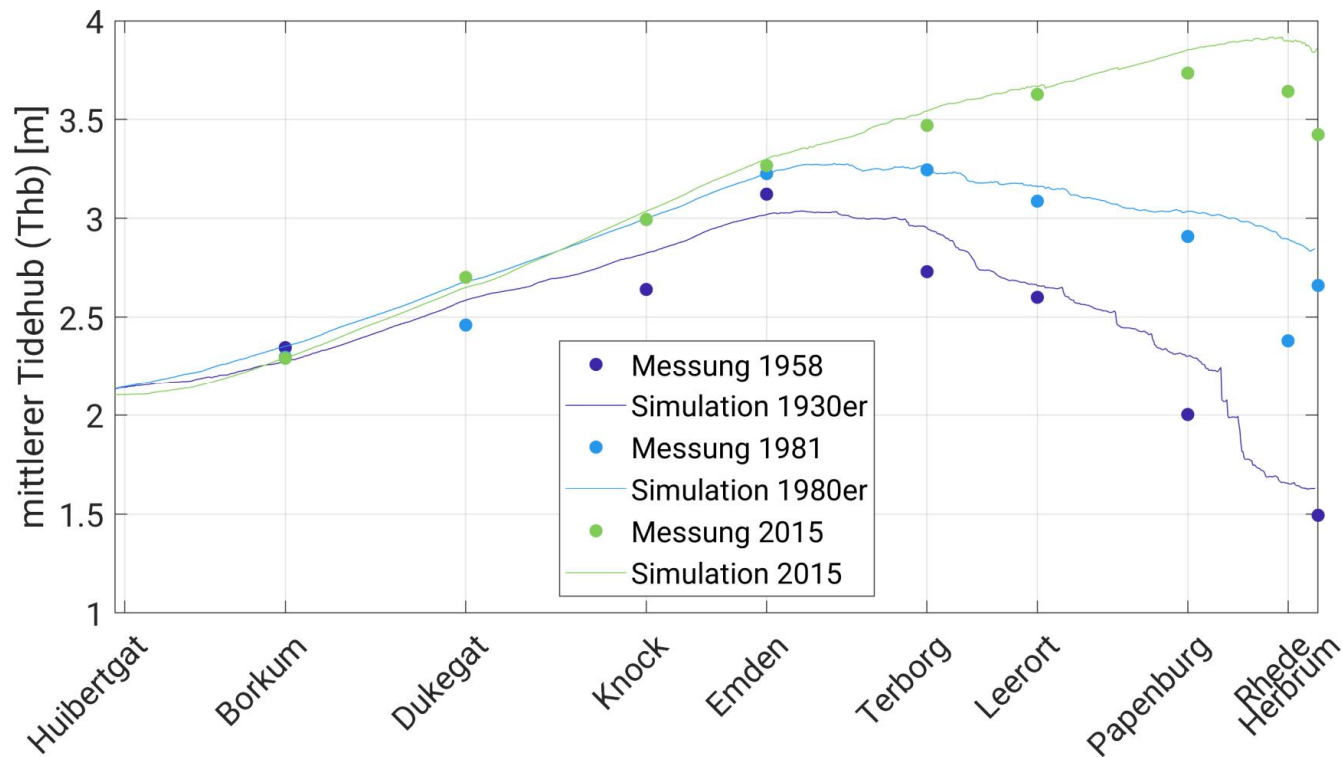
§ Messung (Quelle: NLWKN)



blue: water column / green: fluid mud layer

Fluid mud distribution in the Ems estuary at high discharge ($> 80 \text{ m}^3/\text{s}$) (Source: Wurpts 9/25/2017; mirror image for comparison with simulation).

Zwischenergebnisse 3D-Modell historische Zustände des Emsästuars: Tidehub



Ursachen der Verschlickung mit Analyse historischer Zustände des Emsästuars

Z.B. Einflussfaktoren

- § Geometrie
- § Rauheit
- § Meeresspiegelanstieg

Hyposynchron (1923-52, 1981+90+92) à Hypersynchron (2015)

Zusammenfassung

Ergebnisse

- § Erzeugung von Messdaten aus Laborversuchen zur Verifizierung des numerischen Modells
- § Physikalische und numerische Beschreibung der Turbulenz im Übergang zu Flüssigschlick mit einem erweiterten kontinuierlichen Modellansatz
- § Kombination von Turbulenz und Schlickrheologie im 3D-Modell durch Einführung einer effektiven Viskosität
- § Numerische Nachbildung der Laborversuche

Herausforderungen

- § Künstlich erzeugte geschichtete Strömungen im Labor
- § Anwendung für die Ems und Vergleich historischer Szenarien

Fazit

- § Erkenntnisgewinn in der Flüssigschlickmodellierung
- § Herausforderungen bestehen im operationellen Einsatz

Ausblick

Wissenstransfer (Open Access)

- § Erstellung des Abschlussberichts in „Die Küste“ in 2019 geplant, d.h. Open-Access-Publikation im Hydraulic Engineering Repository [HENRY](#)

Forschungsbedarf

- § Ziel: Holistisches Modell vom Boden über Schlick bis zur Wassersäule

FuE-Projekt „MudEms“

- § Mit Start in 2019 im Rahmen der Ressortforschung beantragt
- § Projektpartner und Fortsetzung der fachlichen Begleitung willkommen

Berlin Declaration on Open Access to Knowledge in the Sciences and Humanities

The Internet has fundamentally changed the practical and economic realities of distributing scientific knowledge and cultural heritage. For the first time ever, the Internet now offers the chance to constitute a global and interactive representation of human knowledge, including cultural heritage and the guarantee of worldwide access.

We, the undersigned, feel obliged to address the challenges of the Internet as an emerging functional medium for distributing knowledge. Obviously, these developments will be able to significantly modify the nature of scientific publishing as well as the existing system of quality assurance.

Das Projektteam dankt dem BMBF für die Förderung und dem KFKI für die fachliche Begleitung des Projektes MudEstuary.

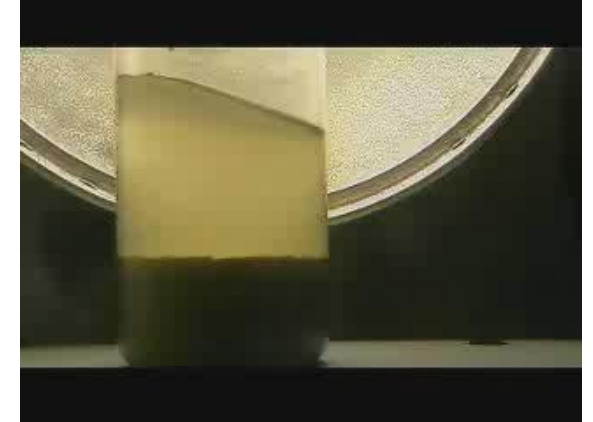


High concentration suspension of the Ems Estuary (Maushake, 2009)

slow movement of the sample



abrupt rotation of the sample



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Bundesanstalt für Wasserbau
22559 Hamburg

www.baw.de